



La modélisation des réseaux urbains

Denise Pumain

► To cite this version:

| Denise Pumain. La modélisation des réseaux urbains. 2003. halshs-00000477v2

HAL Id: halshs-00000477

<https://shs.hal.science/halshs-00000477v2>

Preprint submitted on 23 Jul 2003

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LA MODELISATION DES RESEAUX URBAINS¹

Denise PUMAIN
Université Paris I
pumain@parisgeo.cnrs.fr

Abstract : Modelling urban networks. The concept of urban network is frequently used in France, compared to English-speaking world where the expression of *urban system* is preferred. We review here the main conceptions and types of studies which documented the concept, during the forty years period between 1950 and 1990. In a first step, until the 60's, the uses of the term network were mainly metaphoric in the sense that the properties of the nodes were studied more than the edges. Works related to central place theory exemplified hierarchical distributions in size, functional diversity and spacing of cities. The second period made a more explicit use of the network, both in analysing the communication or migration flows between cities and by suggesting that networks were a more efficient and democratic form of organisation than hierarchies (for instance within the DATAR's policy promoting the "réseaux de villes"). In a third set of references, including the dynamic modelling of urban systems, the network becomes implicit again (it is represented in the models for instance through processes of diffusion, competition or comparative urban dynamics). We conclude by suggesting that, despite a frequent lack of empirical data, an explicit consideration of network organisation in the dynamic models could be interesting.

Key-words: urban systems, urban networks, modelling.

Les géographes emploient depuis fort longtemps l'expression de "réseau urbain" pour désigner l'ensemble des villes d'une région, d'un état, voire d'un continent. Il s'agit ici de préciser ce que l'emploi du concept de réseau apporte aux théories et aux modèles qui formalisent ces ensembles, de plus en plus souvent considérés comme des "systèmes" de villes. La sélection d'exemples jugés significatifs est sans doute un peu arbitraire, mais inévitable compte tenu de l'ampleur du sujet. Au risque d'un certain anachronisme, mais dans un souci de clarification, on utilisera la richesse sémantique actuelle du terme de réseau pour caractériser l'emploi qu'en faisaient certains travaux, à une époque où ces différentes acceptions n'étaient pas nécessairement reconnues.

1 Le réseau comme métaphore

Il peut sembler paradoxal aujourd'hui que les géographes aient pu recourir si fréquemment au terme de réseau dans l'expression "réseau urbain" sans éprouver le besoin de justifier, de clarifier et de formaliser le contenu de ce mot. Pourtant, l'expression globale "réseau urbain" fait sens et renvoie très précisément à un corpus théorique, à un objet géographique et à des méthodes d'investigation. C'est a posteriori que l'on peut discerner au moins deux apports, plus ou moins distincts, de l'emploi du terme de réseau dans cette expression.

Le réseau comme filet: couvrir, encadrer, desservir un territoire

¹ Ce texte a été préparé comme un rapport pour le PIR Villes en 1994 et jamais publié.

La notion de réseau urbain émerge tardivement après l'identification de deux catégories, opposées par leur statut, leur sociabilité et leur territorialité: la ville et la campagne, mais associées et interdépendantes du fait de la complémentarité de leurs fonctions et des échanges qui les unissent (sans oublier Platon, on peut citer Botero, 1588 et Le Maître, 1682). Dans ces écrits comme dans ceux de Vauban et de bien d'autres, on trouve l'idée de la spécialisation et donc de la complémentarité des villes. Mais, ce qui semble dominer dans les représentations de cette époque, c'est la nécessité de trouver dans un territoire, à côté de la capitale qui exprime la puissance et le faste du souverain, un certain nombre de villes, de préférence régulièrement espacées, qui tiennent le sol et favorisent une répartition pas trop inégale des hommes et des richesses. Sans que l'idée en soit toujours présente ni clairement exprimée (Lepetit, 1988, Ribeill, 1988), sans que surtout soient aperçus les liens de ville à ville autres que ceux qui relient chacune à la capitale, le réseau urbain d'un pays serait interprété alors comme une réponse au souci stratégique d'éviter l'envahissement de l'extérieur ou la désagrégation de l'intérieur. D'ailleurs, c'est la notion de réseau de fortifications pour la défense du territoire qui est l'une des origines de l'emploi du terme de réseau, en ce sens, vers 1820 (Guillerme, 1988).

Avec d'autres formulations, cette idée du réseau des villes qui tel un filet enserre toutes les parties d'un territoire est vraisemblablement à l'origine de la fortune de l'expression de réseau urbain dans les descriptions qu'en feront les géographes vers le milieu du XXe siècle. Pour les analystes des zones d'influence des villes (Chabot, 1961), ou de l'armature urbaine (Coppolani, 1959, Hautreux et Rochefort, 1965), la fonction majeure d'un réseau urbain n'est pas tant la défense du territoire que sa desserte complète par un ensemble de services, qui doivent atteindre la totalité d'une population dispersée, tout en étant nécessairement regroupés en un nombre de lieux plus restreint.

Sans que cela soit toujours explicitement formulé, c'est bien la notion de couverture complète du territoire qui justifie l'emploi du mot réseau. Les grandes études de réseaux urbains régionaux (Dugrand, 1963, Rochefort, 1960, Babonaux, 1966) privilégient en effet très nettement l'analyse des relations villes-campagnes - propriété et prélèvement fonciers, recours aux services- par rapport à celle des liens de ville à ville. Les faits de polarisation, d'organisation des flux centrés sur les villes, sont le plus souvent utilisés pour contribuer à l'identification de niveaux parmi les centres. En effet, la propriété essentielle des réseaux urbains, qui est leur organisation hiérarchique, est reconnue et associée à cet objet dès ses premières mentions dans la littérature. Ainsi J. Reynaud (1841, cité par M.C. Robic, 1982) fonde sa description du "système des villes" sur l'existence de plusieurs niveaux de services. Si les habitants des villages parfois se regroupent par sociabilité, les artisans se concentrent dans l'un de ces villages, "non seulement par le plaisir qu'ils ont à se trouver ensemble", mais encore "par le besoin continuel qu'ils ont les uns des autres" (ce que nous appellerions aujourd'hui les économies d'agglomération). Placé au centre d'un hexagone dans lequel il dessert plusieurs villages, ce bourg d'artisans relève lui-même avec d'autres d'un centre de niveau plus élevé pour le recours à des services d'usage moins fréquent, et l'auteur pense qu'on pourrait ainsi déceler de trois à quatre degrés de centres entre le simple village et la capitale d'un grand pays.

Ces deux principes -offre centrale des services, regroupement des services de même niveau dans les mêmes centres- sont à l'origine d'une hiérarchie emboîtée de niveaux de fonctions dont la conception orientera ultérieurement la théorisation et l'analyse des réseaux urbains. Dans les formulations de W. Christaller (1933), dans les modèles mathématiques qu'en proposeront Beckman et McPherson (1970), dans l'expérimentation qu'en fera B. Berry dans les plaines de l'Iowa (1967), comme dans la plupart des travaux déjà cités relatifs à des réseaux urbains régionaux (voir la bibliographie qu'en avaient dressé B. Berry et A. Pred en 1961, ou encore les références citées par P. Claval, 1981 par Pumain, Saint-Julien, 1976), la hiérarchie urbaine n'est à peu près jamais déduite de l'analyse des relations de ville à ville, de l'observation des flux ou des échanges entre les villes, ni même et surtout de mesures directes de dépendance, de domination ou de "commandement" (en dépit de l'emploi sporadique de ce terme dans la littérature). Tout au plus trouve-t-on quelques analyses relatives à l'importance de la confiscation du pouvoir de décision par certains échelons supérieurs de la hiérarchie -

ainsi par exemple en ce qui concerne le pouvoir bancaire (Labasse, 1955). Ces allusions sont évidemment plus fréquentes à propos de l'organisation administrative et des comparaisons entre réseaux urbains plus ou moins centralisés ou "dominés " par telle métropole ou capitale.

La hiérarchie des villes n'est pas de même nature que celle d'une entreprise ou d'une institution, liées à l'exercice d'un pouvoir, ou d'attributions spécifiques, c'est surtout une hiérarchie de niveaux fonctionnels. Cette notion se fonde sur l'observation de la présence d'équipements, de commerces et de services dans certaines villes et sur le fait que ces centres présentent plusieurs niveaux, gradués par la fréquence d'apparition, la rareté d'utilisation et la portée spatiale de ces fonctions, ainsi que par la diversité des fonctions rassemblées. Généralement, mais pas toujours, la rareté et la diversité des fonctions sont d'autant plus grandes qu'un ville est importante par sa taille.

L'emboîtement des niveaux tel que révélé par les observations n'est cependant pas aussi parfait que dans la théorie. Des "recouvrements" de compétence existent, des équipements font défaut dans certains centres où ils devraient normalement se trouver et sont au contraire présents dans des centres trop "petits". B. Berry, R. Preston, G. Golledge et bien d'autres ont discuté ce "flou" dans la hiérarchie des lieux centraux (pour l'analyse d'un cas en France voir par ex. Toninato, 1979) qui, outre la présence des fonctions spécialisées, peut expliquer qu'au lieu de niveaux distincts on observe toujours une distribution presque continue des tailles de villes (Béguin, Thisse, 1979).

La prégnance de la conception du réseau urbain comme ensemble hiérarchisé de centres émanant d'un territoire qu'ils encadrent et desservent n'ira pas sans poser de problèmes lors de l'interprétation des observations. Ainsi, les villes spécialisées comme les grands ports maritimes ou les centres miniers et sidérurgiques sont-ils parfois considérés "hors réseau"! La spécialisation d'un nombre limité de villes dans des activités qui ne sont pas des activités banales de services à la population, est cependant une propriété caractéristique des réseaux urbains, certes d'importance secondaire mais tout aussi universelle que leur organisation hiérarchique. Présente dans les modèles de Lösch, postulée par la théorie de la base économique comme par celle des pôles de croissance, la spécialisation est cependant demeurée mal intégrée à la théorie des réseaux urbains, peut-être faute d'une formulation explicite dans cette théorie de la nature et de la forme des relations qui s'établissent entre les villes.

Ainsi, bien que l'un des modèles de réseau urbain proposés par Christaller s'intitule "modèle de transport", son objectif est seulement de constater quels sont les effets sur la trame des villes d'une économie réalisée sur la construction des voies de circulation. L'éventuelle hiérarchisation des voies par le trafic non plus que l'intensité des relations ne sont précisées dans le modèle. Il est également révélateur que le concept de centralité, qui pourrait connoter une position dans un réseau, ait été défini par Christaller comme la capacité d'une ville à offrir des biens et des services à une clientèle extérieure. Pourtant, au siècle précédent, Tant J. Reynaud que le géographe Kohl (1841) que cite Christaller avaient fortement insisté sur l'interdépendance existant entre les voies de circulation et les villes en tant que noeuds de transit. De nombreux historiens ainsi qu'E. Reclus (1895) avaient noté et mis en relation la régularité de l'espacement des villes avec leur statut d'étapes ou de relais le long d'itinéraires routiers ou fluviaux. Dès 1832, M. Chevalier (cité par Ribeill, 1988 et Robic, 1990) avait prévu certains effets de la contraction de l'espace-temps apportée par l'accélération des communications sur une mise en réseau à plus longue portée des lieux et A. Allix (1935) en notait les conséquences par l'étiollement des petits centres dans les niveaux inférieurs de la hiérarchie des villes. Pourtant, alors même qu'à maintes reprises étaient évoqués, à l'échelon d'un centre, les liens réciproques entre le développement d'une ville et celui de ses communications -dès 1910, Vidal de la Blache précisait, après Mackinder, l'importance du concept de nodalité, et on ne compte plus depuis les mentions de "ville carrefour"-, à l'échelon géographique supérieur, les relations entre réseau des villes et réseau de circulation ne firent pas l'objet d'une véritable formalisation théorique. Tout s'est passé comme si, de l'analyse du filet couvrant le territoire, on n'avait retenu que les noeuds au détriment des liens entre les noeuds.

Le réseau comme dimensionnement

La prise en compte de la notion de l'interdépendance entre les centres urbains, que véhicule l'emploi du terme réseau, est cependant attestée par les mesures de la dimension relative et de l'espacement des villes. Du fait de la forte corrélation entre la taille des villes et leur niveau fonctionnel, la forme de la distribution des tailles de villes (improprement appelée "loi rang-taille" à la suite de Zipf) est apparue comme une propriété révélatrice de l'organisation hiérarchique des réseaux urbains. Plus ou moins éclairantes et pertinentes, les diverses formulations théoriques de cette loi reposent toutes sur la solidarité dimensionnelle des villes d'un même réseau: le produit de la taille d'une ville par son rang est une constante (Auerbach, 1913), la population de la 2^e ville est environ la moitié de celle de la première, celle de la 3^e le 1/3 etc...(Zipf, 1949), ou encore la taille des villes résulte d'un processus de répartition aléatoire de la croissance urbaine ayant même moyenne et écart-type pour tout le réseau (Gibrat, 1931). Les écarts à ce modèle sont interprétables en termes d'inégale répartition du pouvoir politico-administratif entre les villes d'un territoire, la centralisation entraînant la primauté ou disproportion de la taille de la première ville (Jefferson, 1939), les systèmes fédéraux engendrant plutôt des "oligarchies" ou réseaux urbains à plusieurs têtes (Clark, 1940, Moriconi, 1993).

Les analyses formalisées de la hiérarchie des tailles de villes font cependant abstraction de leur configuration dans l'espace -un peu comme si l'on en était resté à la métaphore du système stellaire évoqué par E. Levasseur en 1885- et a fortiori des relations entre elles. Pourtant, dès 1861, E. Lalanne, dans ses "lois de l'équilatérie et des distances multiples" avait montré empiriquement le lien entre la trame des villes et les voies de circulation, en établissant la fréquence des configurations triangulaires et des carrefours à six voies et la proportionnalité entre les espacements moyens de centres de niveaux différents. Des formalisations ultérieures de l'espacement des villes ne prirent en compte que leur semis, indépendamment des liens effectifs entre elles, le modèle de référence, plutôt mal adapté, étant celui d'une distribution de Poisson analysée par la méthode du plus proche voisin (King, 1962). Cette méthode souffre du fait qu'en général l'espace support est un espace physique neutre qui ne tient pas compte des possibilités de liaisons effectives entre les villes. Elle a cependant permis d'établir que, dans l'absolu, les espacements présentent généralement d'autant plus de régularité que le semis considéré est celui de grandes villes (Vlora, 1979, Pumain, 1984, Guérin-Pace, 1992).

La configuration de la trame des villes, avec la hiérarchie de ses centres et de ses espacements, est difficile à analyser globalement. Dacey (1965) a proposé une méthode qui en réalise une projection en coordonnées rhombiques, expérimentée par Cauvin et Raymond (1973) pour identifier les paramètres des harmoniques associées à chaque niveau de centre dans une analyse spectrale uni-dimensionnelle. Seules des trames théoriques de lieux centraux ont pu être décomposées par cette méthode, qui soulève de nombreux problèmes de transposition à l'étude des réseaux urbains réels. On ne sait pas bien en effet séparer, dans les inégalités de l'espacement des villes, ce qui tient aux écarts de niveaux et ce qui s'explique par les irrégularités de l'espace géographique. L'extension de l'analyse spectrale à deux dimensions a été proposée mais pas encore appliquée aux réseaux urbains.

D'autres procédés de filtrage de la trame spatiale des villes ont été expérimentés, par exemple pour découvrir quel est le poids respectif dans la constitution d'un réseau urbain des trois principes identifiés par Christaller (marché, transport, administration). Là encore, la validité des modèles de référence peut être discutée (Sonis, 1985) et de toutes façons la configuration n'est pas analysée d'après sa structure de réseau mais en fonction de la fréquence relative des centres de différents niveaux (Raffin, Meynckens, 1982, Parr, 1978).

Quel que soit le domaine, l'étude directe de l'architecture des répartitions spatiales soulève encore en géographie de nombreuses difficultés méthodologiques. Il n'est donc pas surprenant que, dans la théorie des lieux centraux, l'organisation hiérarchique des centres ait été plus

souvent testée que leur configuration en modèles spatiaux. L'inadéquation de ces modèles en tant que référence qui permette d'évaluer la signification des écarts et de comparer des réseaux urbains différents est sans doute aussi à mettre en cause, comme nous le verrons ci-dessous. Il reste que cette abstraction fréquente de la dimension spatiale dans l'analyse des réseaux urbains, ainsi que la rareté de l'étude des flux rendent compte de l'usage quasi-métaphorique du terme de réseau qui a longtemps prévalu dans l'analyse des réseaux urbains.

2 Le réseau explicité

Les travaux qui ont entrepris de décrire explicitement les liens de communication entre les villes l'ont fait généralement pour un seul type de réseau ou de relation. Ils ont utilisé des modèles de réseau ou de trafic, principalement la théorie des graphes et les modèles gravitaires, bien plus souvent qu'ils n'ont entrepris de reformuler une théorie ou des modèles de réseaux urbains dans lesquels le terme de réseau soit explicité.

Villes et communication

Les réseaux de transport qui relient les villes d'une région ou d'un pays ont été décrits le plus souvent dans leur topologie, au moyen des indices de connexité issus de la théorie des graphes. La comparaison globale de ces indices classe les réseaux urbains en fonction du niveau de développement des pays concernés, la connectivité se comportant à peu près comme les indices plus classiques tels que la densité des voies. Une attention particulière a été apportée aux modifications topologiques accompagnant la genèse des réseaux, autorisant parfois une modélisation archétypique pour le cas de la construction d'un réseau routier goudronné selon des axes de pénétration vers l'intérieur à partir des ports maritimes dans un pays colonisé (exemple du Ghana modélisé par Taaffe Morrill et Gould, 1963). La construction du réseau ferré français a été analysée de façon très détaillée par P. Dancoisne (1983) qui a pu montrer la complémentarité mais aussi la redondance de plusieurs des indices tirés de la théorie des graphes. Une étude des corrélations entre le développement de ce réseau et celui des villes a soligné l'autonomie et l'antériorité de la croissance urbaine et donc l'absence d'effet véritablement structurant et sélectif de la dynamique de ce réseau ferré, qui s'est plutôt ajusté sur une dynamique préexistante du réseau urbain (Pumain, 1982).

Analysant la diffusion du réseau téléphonique en Lorraine au XIX^e siècle, de 1885 à 1914, J.P. Martin (1988) souligne également la contribution du nouveau réseau de communications au renforcement des structures spatiales existantes, dans la mesure où les acteurs qui réalisent l'investissement sont liés à l'économie locale. En conséquence, l'auteur peut "utiliser le réseau comme un marqueur de la structure du système urbain". Il montre ainsi comment on est passé d'une organisation pré-industrielle où le maillage du territoire par les villes s'effectue en cellules exiguës de vie locale, impliquant peu d'interactions entre les villes, à une organisation urbaine en réseau, avec concurrence interurbaine, après la première guerre mondiale. Ce passage s'est réalisé en deux étapes: d'abord par l'apparition d'un niveau intermédiaire de villes moyennes, entre les petites villes et les rares capitales régionales, grâce à un processus de hiérarchisation du niveau local; ensuite par le renforcement des plus grandes villes, lié à l'élargissement de la portée des communications et aux effets cumulatifs produits par la généralisation du fonctionnement en réseau. L'auteur est ainsi amené à contester la réalité d'un réseau urbain avant le XVIII^e siècle: à la centralité de proximité qui assure une complémentarité ville-campagne dans des cellules de vie locale relativement isolées se superposent des réseaux d'échanges à longue distance fondés sur les liaisons à longue portée, de l'administration ou du commerce maritime par exemple. Là joue une centralité de réseau qui ne concerne pas l'ensemble des villes d'un territoire mais seulement quelques-unes, les villes-seuils de Vance, les centres et relais de l'économie-monde de Braudel -et ce fonctionnement en réseau s'appuie surtout sur un type d'échanges, comme dans le cas de la Décapole alsacienne, ou des villes de la Hanse.

L'analyse des flux circulant entre les villes permet donc de préciser le contenu de la notion de réseau urbain et d'en jalonner les étapes de structuration. Lorsqu'un fonctionnement en réseau est acquis, les études se donnent plutôt pour objectif de caractériser la position relative de chaque centre dans le réseau. La théorie des graphes est encore utilisée pour identifier des noeuds centraux ou périphériques, d'après leur écartement respectivement minimal ou maximal, ou encore pour calculer un indice global de centralité de réseau comme celui proposé par Shimbel. Mais c'est surtout sur l'analyse des flux empruntant les réseaux, plutôt que sur la topologie de ceux-ci, que se fondent ces recherches. Ainsi, Nystuen et Dacey (1961) ont proposé une méthode d'analyse d'une matrice de flux qui opère une première

hiérarchisation entre des noeuds d'après l'importance du trafic qu'ils attirent, puis qui affecte chaque centre à un centre de niveau plus élevé dont il dépend, d'après la dissymétrie entre flux envoyé et reçu. Il résulte de cette méthode une mise en ordre des réseaux urbains en sous-systèmes d'échanges préférentiels associant un centre et ses satellites, illustrée par exemple à partir des flux aériens entre les grandes villes de l'Inde (Nystuen, Dacey, 1961) ou du Canada (Murayama, 1982) ou d'après les trafics ferroviaire et aérien entre les grandes villes européennes (Cattan, 1992).

Le plus souvent, le fonctionnement de ces réseaux de communication entre les villes est analysé et filtré par des modèles de type gravitaire (Martin, 1988; Cattan, 1992). Sont alors identifiés des liens d'échanges préférentiels entre des villes, ou au contraire des liaisons déficitaires correspondant à des effets de barrière, qui servent à caractériser la structuration d'un réseau urbain: ainsi pour N. Cattan, même si plusieurs indices amènent à concevoir une mise en réseau des grandes villes à l'échelon européen, en particulier sous l'impulsion directrice des noeuds majeurs que sont Londres et Paris, la coupure représentée par les frontières des Etats contribue encore à isoler fortement des réseaux urbains nationaux. L'analyse des flux entre les villes contribue aussi à nuancer la primauté de l'organisation hiérarchique des réseaux urbains, en soulignant l'importance prise par les villes spécialisées dans des fonctions internationales, telles Genève ou Francfort, qui jouent dans les échanges un rôle bien supérieur à ce qu'impliquerait leur niveau dans une hiérarchie globale. Enfin, le rôle de la position géographique des villes est plus apparent dans la distribution des flux et contribue à redéfinir la place des villes dans un réseau urbain en cours de structuration.

L'analyse explicite des réseaux de communication permet encore de donner de nouvelles représentations des réseaux urbains, qui sont des images saisissantes des déformations que font subir à la proximité physique les connexités créées par les réseaux. La notion d'accessibilité dans un ou plusieurs réseaux, mesurée en temps de parcours de ville à ville, était déjà cartographiée par J. Bruhnes (1912) qui figurait la contraction apparente du territoire français à l'aune des durées de trajet des principales villes vers Paris, de la malle-poste aux chemins de fer. C. Cauvin et H. Reymond (1980, et Cauvin, Reymond, Schaub, 1989) ont proposé des projections directes des matrices interurbaines des distances-temps et relayé ainsi des anamorphoses de la situation des villes européennes. J.C. Muller (1983) a expérimenté un mode de représentation différent fondé sur une interprétation en termes de géométrie riemannienne des temps de parcours routiers et aériens entre les grandes villes allemandes. Plus récemment, Spiekermann et Wegener (1993) ont également "déformé" la carte géographique de l'Europe d'après les temps de liaison routiers et ferroviaires entre les grandes villes pour construire une image qui rende plus immédiatement perceptible la situation de chaque ville dans ces réseaux.

Sous l'impulsion des nouveautés techniques mais aussi à l'initiative de groupes de recherche spécialisés, dont le GDR Réseaux, de nombreuses recherches sont menées actuellement sur les spécificités d'organisation de réseaux très divers: ceux des télécommunications (Bakis, 1983, Curien, 1992, Salone, 1993), des plate-formes logistiques (Brunet, 1993), des trains rapides (Plassard, 1991, Boursier-Mougenot et Ollivier-Trigalo, 1993)... Les appréciations des effets de ces réseaux sur l'organisation des réseaux urbains sont parfois divergentes, une synthèse des acquis de ces travaux ne pourra être faite avant d'autres vérifications.

Ainsi, l'analyse et la représentation des réseaux d'échange entre les villes, sur lesquels la théorie des lieux centraux était restée muette, amènent à compléter l'image de simple hiérarchie emboîtée véhiculée par le dénombrement des fonctions urbaines et fondée sur la seule notion de centralité de proximité, en lui ajoutant une mesure de centralité de réseau. Elles ont aussi contribué à enrichir la discussion relative à l'historicité de l'organisation des réseaux urbains formalisée par Christaller et à son remplacement par de nouvelles formes d'organisation.

Le réseau contre la hiérarchie

Les résultats des analyses des tableaux d'échanges entre les villes amènent parfois à des conclusions contradictoires, ainsi à propos des échanges téléphoniques. J.P. Martin et al. (1988) travaillant sur la France de l'Est à l'échelon de 173 "centres à autonomie d'acheminement" (à peu près des bassins d'emploi) retrouvent pour l'essentiel une distribution conforme au modèle gravitaire, où le département paraît constituer un échelon important, délimitant en gros le cadre actuel de la vie quotidienne. Pour C. Emanuel (1990) et G. Dematteis (1985), ou encore R. Camagni (1990) analysant les échanges téléphoniques intercommunaux des régions piémontaise et lombarde (1990, 1993), c'est une structuration différente, plus "réticulaire" que gravitaire qui apparaît. Complétée par l'analyse des localisations nouvelles des entreprises et des services, qui montre des niveaux de fonction incomplets, ainsi que des spécialisations complémentaires entre centres de même niveau, cette étude conclut à l'obsolescence des modèles hiérarchiques de la théorie des lieux centraux et à l'émergence d'une structuration "en réseau" des systèmes de villes.

R. Camagni (1993) en donne la définition suivante: "les réseaux de villes sont des systèmes de relations et de flux à caractère essentiellement horizontal et non hiérarchique, s'établissant entre des centres complémentaires et semblables, et garantissant la création d'externalités ou d'économies, respectivement de spécialisation/complémentarité/division spatiale du travail et de synergie/coopération/innovation".

Ces interprétations ont de toute évidence été contaminées par la notion de "réseau d'entreprises", alliances diverses au sein desquelles la coopération se substitue à la concurrence, et par celle d'"entreprise en réseau", forme d'organisation institutionnelle où la spécialisation et la coordination des compétences se substituent au commandement hiérarchique. La transposition de l'organisation entrepreneuriale à celle des formes spatiales n'est cependant pas démontrée. Le changement d'échelle de l'analyse, entre les réseaux d'acteurs individuels et ceux observés au niveau agrégé des villes n'a pas encore fait l'objet de formalisations systématiques. En outre, les organisations réticulaires, avec spécialisation de certains sous-centres dans des fonctions de niveau élevé, ont été observées plutôt à l'intérieur de grandes zones métropolitaines comme la région milanaise, qu'entre ces zones. Elles participeraient donc davantage d'une recomposition spatiale locale que d'une refonte générale des réseaux urbains. Cependant, à un autre niveau, l'apparition d'un modèle de "ville globale" (Castells, 1989, Sassen, 1992), ou de réseaux sectoriels comme celui des places bancaires, fonctionnant à l'échelle mondiale, conduirait à valider l'émergence d'un nouveau schéma relationnel interurbain. Mais ne pourrait-on aussi l'interpréter comme exprimant la prise en compte, enfin, des relations liées à la spécialisation dans l'organisation des réseaux urbains? En dépit de travaux pionniers, par exemple sur les réseaux des entreprises multinationales (Rozenblat, 1992) ou sur les spécialités des "villes globales" (Sassen, 1992) trop peu d'études empiriques sont disponibles pour permettre l'intégration de ces nouveaux éléments en une théorie unifiée des réseaux urbains.

La notion de "réseau de villes" entendue comme association délibérée de villes complémentaires et non plus concurrentes pour la répartition des équipements et des activités n'en a pas moins été adoptée comme un modèle opérationnel par certains responsables de l'aménagement du territoire. Promue par la DATAR (1991), cette notion entérine en fait la nécessité de renoncer à de ruineuses concurrences entre des villes proches qui peuvent désormais être considérées comme faisant partie du même cadre de vie quotidien pour leurs habitants, et qui ont intérêt à la concertation pour réaliser de nouveaux investissements ou partager des fonctions.

Plutôt que de conclure à l'effacement total de l'organisation hiérarchique des lieux centraux par de nouvelles organisations des villes en réseau, on serait tenté de proposer l'intégration des deux modèles en une théorie unifiée des réseaux urbains. L'accord ne se fait pas cependant sur cette proposition, dans la mesure où certains, comme D. Batten, reprenant les travaux d'historiens et les conceptions de Bird sur la centralité, vont jusqu'à postuler une différence de nature du phénomène urbain, entre les lieux centraux, villes-marchés qui ont émergé de l'économie agricole, et les villes de réseau, nées du grand commerce et des échanges de ville à ville, qui seraient les seules villes à proprement parler.

En fait, seule une étude spatio-temporelle détaillée de l'évolution des réseaux urbains, une analyse de la dynamique des systèmes de villes, serait susceptible d'apporter des éléments de réponse à cette controverse. Le problème est que l'étude du changement dans les réseaux est très difficile et que, dans les modélisations les plus récentes de la dynamique des systèmes de villes, la notion de réseau redevient implicite.

3 Le réseau implicite dans les modèles dynamiques

C'est sans doute l'organisation arborescente qu'il décrivait qui avait conduit J. Reynaud à proposer dès 1841 l'expression de "système général des villes". Ce sont bien davantage les phénomènes de cohérence et de synergie observés dans l'étude du changement urbain qui conduisent à préférer aujourd'hui l'expression de "système de villes" à celle de "réseau urbain" -en raison aussi des possibles confusions d'échelle dans l'emploi de ce terme. Se référer au terme de système implique également de centrer toute analyse et modélisation sur les interdépendances entre les villes, donc sur des interactions de réseau, même s'il n'est pas toujours possible d'explicitier celles-ci entièrement dans les modèles.

Les canaux de l'information

Plusieurs travaux historico-géographiques ont souligné le rôle considérable des échanges d'informations dans le développement des réseaux urbains. L'appréhension directe de ces échanges est difficile, aussi ont-ils été le plus souvent révélés par la quasi-simultanéité de certains changements ou par le caractère systématique de certains décalages temporels, par exemple dans l'adoption d'innovations. Les travaux les plus marquants dans ce domaine restent sans doute ceux d'A. Pred (1966 et 1973) dont les observations sur le réseau des villes américaines aux XVIII^e et XIX^e siècles ont illustré le processus de diffusion des innovations dans un réseau urbain, parfois orienté en continuité par le réseau des communications (en l'occurrence le chemin de fer) mais le plus souvent guidé par l'inégale répartition des premiers adoptants potentiels et donc conforme à l'organisation hiérarchique du réseau des villes.

Des travaux portant sur l'organisation plus récente des entreprises, relativement indépendant de la hiérarchie de la trame urbaine, devaient conduire A. Pred (1977) à formuler des propositions nuancées, articulant structure hiérarchique et non hiérarchique des réseaux d'information dans le système des villes, qui pourraient être utilement reconsidérées dans le débat actuel.

Les analyses directes des échanges d'information entre les villes sont rares. Celles de Tornqvist (1973) fondées sur des enquêtes concernant les contacts entre hommes d'affaires ou chefs d'entreprise, ont montré l'importance des relations "face-à-face" dans les négociations et contribuent à faire comprendre l'avantage de la centralité des grandes agglomérations. Des analyses indirectes ont révélé l'importance et la vitesse croissante de la circulation des informations dans un système de villes. Elles se traduisent par la quasi-simultanéité de transmission des changements de valeur d'indicateurs de conjoncture économique, par exemple dans le réseau des villes canadiennes (Marchand, 1981), ou par la très grande similitude des trajectoires socio-économiques des villes d'un même réseau, sur moyenne période (Pumain, Saint-Julien, 1978). L'ubiquité du changement atteste de la rapidité et de la généralité de la communication, qui contribue à la stabilité dynamique du système: alors que tous les éléments-villes se transforment très vite, les structures macroscopiques du système des villes, son organisation interne fondée sur la différenciation entre les villes, ne se modifie que très lentement. Ces observations justifient l'intérêt porté aux théories de l'auto-organisation et aux modèles qui en sont issus pour analyser et formaliser la dynamique des systèmes de villes.

Les voies de la concurrence

Les modèles utilisés aujourd'hui pour explorer la dynamique des systèmes de villes admettent tous l'existence d'interactions entre les villes qui composent ces systèmes. Le plus souvent, les interactions majeures prises en compte sont des relations de concurrence, pour l'attraction de populations ou de fonctions, mais les réseaux par lesquels ces interactions se réalisent ne font pas partie explicitement du modèle.

Par exemple, le formalisme du modèle proie-prédateur de Volterra-Lotka a été repris par Dendrinos et Mullaly (1985) pour simuler la dynamique interurbaine, avec une application à des villes américaines de 1940 à 1970. Mais la concurrence entre les villes n'est pas explicite dans le modèle, où les deux variables en interaction sont la richesse et la population des villes; c'est le fait de les exprimer en valeur relative, comme la part de chaque ville dans la richesse ou la population totale à un moment donné, qui introduit l'idée de concurrence dans la dynamique interurbaine.

Dans les modèles dynamiques de réseaux urbains proposés par A. Wilson (1981) ou par P. Allen et M. Sanglier (1979), la concurrence entre les villes est exprimée par une fonction d'attractivité, qui mesure en fait les avantages d'une ville, pour l'activité considérée, par rapport à ceux de toutes les autres villes. La distance entre les villes entre en ligne de compte dans le calcul de ces attractivités relatives, et certaines applications de ces modèles ont introduit explicitement les positions des villes dans un ou plusieurs réseaux (Engelen, 1990). Dans la plupart des autres applications, les réseaux sont supposés accompagner la compétition urbaine sans causer de différenciation majeure, parce que l'objectif est de simuler une dynamique générale. Au contraire, un modèle utilisant la théorie des catastrophes et qui était destiné à montrer les conséquences de la réouverture du grand commerce sur la rupture d'évolution des villes médiévales a évidemment considéré l'effet des réseaux de façon explicite (Mees, 1975).

Toute une voie de recherche reste donc encore ouverte à la prise en compte des effets spécifiques de réseau dans l'évolution de la configuration des systèmes de villes. Si la complexité des équations de type logistique employées par P. Allen ou A. Wilson rend cette introduction difficile, les modèles proposés par W. Weidlich et G. Haag dans le cadre de la synergetique et utilisant le formalisme des équations maîtresses seraient peut-être plus directement utilisables pour la modélisation de réseaux spécifiques. Jusqu'ici, les expériences d'application de ces modèles ont porté sur les échanges migratoires interurbains et leur signification pour la dynamique d'un système de villes (Sanders, 1992) mais rien n'interdit de considérer d'autres expressions de l'interaction entre les villes et de les utiliser pour mesurer des effets de réseau. Le modèle utilisé décompose la partie non symétrique des flux entre des attractivités liées à la taille des villes, et des préférences qui en sont indépendantes.

Représentations en perspective

On a vu à quel point l'analyse explicite d'un fonctionnement en réseau pouvait éclairer et enrichir la métaphore du "réseau urbain". Le foisonnement actuel de la réflexion et des analyses relatives au concept de réseau autorise maintes spéculations quant à la possibilité de nouvelles avancées dans la théorie et la modélisation des systèmes de villes.

On sait que dans ces systèmes, les villes sont en effet reliées non pas par un seul mais par de multiples réseaux de communications. Certains sont matérialisés par des infrastructures, d'autres sont révélés, à un niveau d'observation agrégé, par des flux, tandis qu'à l'échelon des acteurs individuels ou collectifs, les réseaux n'établissent que des liaisons intermittentes et partielles entre certaines villes du système. La multiplicité des canaux, l'existence de niveaux -ou couches- intermédiaires, leur fonctionnement en parallèle, évoquent aujourd'hui pour le concept de réseau urbain une analogie qui serait intuitivement plus proche de la souplesse, de la diversité, de la versatilité et des possibilités d'apprentissage des réseaux de neurones que de la rigidité et de l'unicité des voies d'un réseau de chemin de fer. Certes, l'analogie ne sera fructueuse que dans la mesure où nos connaissances du fonctionnement cérébral s'amélioreront et où ces acquisitions se révéleraient transférables dans le domaine urbain. Plus que l'analogie de fonctionnement, il est probable que ce soit l'analogie formelle avec les modèles artificiels conçus en informatique (Huberman, 1988) qui soit utile pour représenter autrement et simuler les effets de la complexité des interactions entre les villes. Sans atteindre encore à la complexité requise, quelques tentatives éparées de modélisation par les automates cellulaires ou les systèmes multi-agents (Bura et al. , 1994) vont dans ce sens.

On peut attendre également certains progrès dans la modélisation des réseaux de villes par l'introduction des fractales (Arlinghaus, 1985 et 1989, Frankhauser, 1993). Le modèle fractal présente l'intérêt de donner une image de référence a priori bien adaptée à la configuration spatiale des systèmes de villes puisqu'il suppose une structure d'ordre, hiérarchique, fondé sur le concept d'homothétie interne, tout en admettant des irrégularités stochastiques. Surtout, il devrait être possible de relier cette structure caractéristique, sur la longue durée, aux règles d'espacement qui les ont créées, et qui dépendent des vitesses de circulation prévalant à diverses périodes pour différentes natures de relations ou différents types de réseaux de communication. On espère aussi pouvoir simuler ces structurations évolutives par des modèles de croissance fractale qui produiraient cette articulation d'échelles.

Dans les deux cas cités, on tendrait à une modélisation qui serait inspirée par une théorie évolutive des systèmes de villes: selon cette thorie, les réseaux urbains ne répondent pas tant à une fonctionnalité présente qu'ils ne révèlent les transformations successives de structures plus anciennes. Une telle approche a l'intérêt de tenter de rendre compte, dans la configuration actuelle de ces systèmes, de l'enchevêtrement des scansions spatiales, de formes et de spécialisations, mêlant de façon indissociable temporalités passées et fonctionnalités du moment. Nous sommes cependant encore loin de posséder les connaissances nécessaires, qui permettraient de cerner avec un peu moins d'incertitude la marge de manoeuvre disponible dans l'aménagement de notre façon d'habiter un territoire.

Références

- Allen P. Sanglier M. 1979, A dynamic model of growth in a central place system, *Geographical Analysis*, 256-272.
- Arlinghaus S.L. 1985, Fractals take a central place, *Geografiska Annaler*, 83-88.
- Arlinghaus S.L. 1989, The fractal theory of central place geometry, *Geographical Analysis*, 21, 2, 104-121.
- Babonaux Y. 1966, *Villes et régions de la Loire moyenne*. Tours, SABRI.
- Batten D. 1992, Network cities, infrastructure and variable return to scale, Congress of the Regional Science Association, Palma de Mallorca.
- Berry B. Pred A. 1961, *Central Place Studies*. Philadelphie, Regional Science Institute.
- Bertuglia C. S. La bella A. eds, 1991, *I sistemi urbani*. Milano, Franco Angeli, 2 vol.
- Bird J. 1977, *Centrality and cities*, London, Routledge and Kegan Paul.
- Botero G. 1588, *Della Ragion di Stato: delle cause della grandezza delle città*. Torino, Luigi Firpo.
- Boursier-Mougenot I. Ollivier-Trigalo M. 1993, La territorialité du réseau SNCF, *Flux*, avril-juin, 19-28.
- Brunet R. 1993, L'enjeu du transport, *L'Espace Géographique*, 3, 219-232.
- Bura S. Guérin-Pace F. Mathian H. Pumain D. Sanders L. 1996, Multi-agents systems and the dynamics of settlement systems. *Geographical Analysis*, 28,2,161-178..
- Camagni R. 1990, Structures urbaines gerarchiques et reticulaires: vers une théorisation, in Curti F. Diappi L. eds, *gerarchie e reti di città: tendenze e politiche*, Milan, Franco Angeli.
- Camagni R. 1993, Organisation économique et réseaux de villes, in Salles A. ed., *Les villes, lieux d'Europe*, Paris, 2ditions de l'Aube, 107-128.
- Cauvin C. Reymond H. 1980, *Cartographie informatisée et géographie humaine*. CNRS, ATP expérimentations en cartographie transformationnelle, t.2, 150 p.
- Cauvin C. Reymond H. 1985, *L'espacement des villes*, Paris, CNRS, Mémoires et Documents de Géographie.
- Cauvin C. Reymond H. Schaub R. 1989, Accessibilité, temps de séjour et hiérarchie urbaine. *Sistemi Urbani*, 3, 297-324.
- Chabot G. 1961, *Carte des zones d'influence des grandes villes françaises*. Paris, CNRS, Mémoires et Documents du CRDCG.
- Chevalier M. 1832, Exposition du système de la Méditerranée, *Le Globe*, 12 juillet.
- Christaller W. 1933, *Die Zentrale Orte in Süddeutschland*. Iena, Fischer.
- Claval P. 1981, *La logique des villes*. Paris, LITEC.
- Coppolani J. 1959, *Le réseau urbain de la France*. Paris, Economie et Humanisme.

- Dacey M.F. 1974, One dimensional Central Place Theory, Northwestern University, Studies in Geography n°21.
- DATAR, 1991, *En Europe, des villes en réseau*. Paris, La Documentation française.
- Dematteis G. 1985, Verso strutture urbane reticolari, in Bianchi G. Magnani I. eds, *Sviluppo regionale: teorie, metodi, problemi*, Milan, Franco Angeli.
- Dendrinos D. Mullaly H. 1985, *Urban evolution*. Oxford University Press.
- Dugrand R. 1963, *Villes et campagnes en Bas-Languedoc*. Paris, PUF.
- Dupuy G. ed. 1988, *Réseaux territoriaux*, Caen, Paradigme et CNRS, groupe Réseau.
- Emanuel C. Dematteis G. 1990, Reti urbane minori e deconcentrazione metropolitana nella Padania centro-occidentale, in Martellato D. Sforzi F. eds, *Studi sui sistemi urbani*, Milan, Franco Angeli.
- Guérin-Pace F. 1992, *Deux siècles de croissance urbaine*. Paris, Anthropos.
- Guillerme A. 1988, L'émergence du concept de réseau 1820-1830, in Dupuy G. ed., *Réseaux territoriaux*, Caen, Paradigme et Groupe Réseau, 33-50.
- Hautreux J. Rochefort M. 1965, Physionomie générale de l'armature urbaine française. *Annales de Géographie*, 660-667.
- Huberman B.A. (ed) 1988, *The Ecology of Computation*, North-Holland, Elsevier.
- Juillard E. 1972, Espace et temps dans l'évolution des cadres régionaux, in *Etudes de géographie tropicale offertes à P. Gourou*, Paris, Mouton, 29-43.
- King L. 1962, A quantitative expression of the pattern of urban settlements in selected areas of the United States. *Tidschrift voor Economische en Sociale Geographie*, 53, 1-7.
- Labasse J. 1955, *Les capitaux et la région*. Paris, A. Colin.
- Le Maître A. 1682, *La Métropolite ou de l'établissement des capitales, de leur utilité passive et active, de l'union de leurs parties, de leur anatomie, de leur commerce*. Amsterdam, B. Boekholt.
- Lepetit B. 1988, L'impensable réseau: les routes françaises avant les chemins de fer, in Dupuy G. ed., *Réseaux territoriaux*, Caen, Paradigme et Groupe Réseau, 21-32.
- Lepetit B. 1984, *Chemins de terre et voies d'eau. Réseaux de transport et organisation de l'espace en France (1740-1840)*. Paris.
- Marchand C. 1981, Maximum entropy spectra and the spatial and temporal dimensions of economic fluctuations, *Geographical Analysis*, 95-116.
- Martin J.P. 1988, L'analyse des réseaux en géographie, études de cas, in Dupuy G. ed., *Réseaux territoriaux*, Caen, Paradigme et Groupe Réseau, 229-250.
- Mees A.I. 1975, The revival of cities in medieval Europe, *Regional Science and Urban Economics*, 5, 403-425.
- Moriconi F. 1993, *L'urbanisation du monde depuis 1950*. Paris, Anthropos.

- Muller J.C. 1983, La cartographie des espaces fonctionnels, *L'Espace Géographique*, 2, 142-152.
- Murayama Y. 1982, Canadian urban system and its evolution process in terms of air-passenger flows, *Geographical Review of Japan*, 55-6, 380-402.
- Nystuen J.D. Dacey M. 1961, A graph theory interpretation of nodal regions, *Papers of the Regional Science Association*, 29-42.
- Plassard F. 1991, Le train à grande vitesse et le réseau des villes, *Revue Transports*, 345.
- Pred A. 1966, *The spatial dynamics of US industrial growth 1800-1914*. Cambridge, MIT Press.
- Pred A. 1973, Systems of cities and information flows, *Lund Studies in Geography*, Serie B, 38.
- Pred A. 1977, *City systems in advanced societies*. London, Hutchison.
- Pumain D. 1984, L'évolution séculaire de la trame urbaine, in Quant T. *Géoscopie de la France*, Paris, Minard, 153-174.
- Pumain D. Saint-Julien T. 1976, Fonctions et hiérarchie des villes françaises. *Annales de Géographie*, 385-440.
- Pumain D. Saint-Julien T. 1978, *Les dimensions du changement urbain*. Paris, CNRS.
- Pumain D. 1989, Spatial Dynamics and Urban Models, in Hauer J. Timmermans H. Wrigley N. ed, *Urban Dynamics and Spatial Choice Behaviour*, Dordrecht, Kluwer, 155-174.
- Pumain D. Sanders L. Saint-Julien T. 1989, *Villes et auto-organisation*. Paris, Economica.
- Reynaud J. 1841, Villes, in *Encyclopédie nouvelle*, t.VIII, 670-687.
- Ribeill G. 1988, Au temps de la révolution ferroviaire, l'utopique réseau, in Dupuy G. ed., *Réseaux territoriaux*, Caen, Paradigme et Groupe Réseau, 51-66.
- Robic M.C. 1982, Cent ans avant Christaller, une théorie des lieux centraux. *L'Espace Géographique*.
- Rocheffort M. 1960, *L'organisation urbaine de l'Alsace*. Paris, Les Belles Lettres.
- Rozenblat C. 1992, Le réseau des entreprises multinationales dans le réseau des villes européennes. Université Paris I, thèse de doctorat.
- Sanders L. 1992, *Système de villes et synergie*. Paris, Anthropos.
- Sonis M. 1985, Hierarchical structure and central-place system, the barycentric calculus and decomposition principle. *Sistemi Urbani*, 3-28.
- Taaffe E. Morrill R. Gould P. 1963, Transport extension in underdeveloped countries, *Geographical Review*, 4, 503-529.
- Toninato G. 1979, Une nouvelle approche de la théorie des places centrales, le concept de centralité imparfaite. Strasbourg, thèse de 3e cycle.
- UDARAR, 1971, *Aspects du développement de l'urbanisation en France*. Rapport pour la DGRST, 69-01-822.

Tornqvist G.E. 1973, Systems of Cities and Information Flows, *Lund Studies in Geography*, Serie B, 38.

Vlora N.R. 1979, *Città et territorio*. Bologne, Pàtron.

Wilson A. 1981, *Catastrophe theory and bifurcation*. London, Croom Helm.